

За допомогою запропонованої методики керування параметрами фотоелектричних перетворювачів було проведено вдосконалення існуючого промислового технологічного процесу виготовлення мультикремнієвих ФЕП. По вдосконаленій технології виготовлені фотоперетворювачі з коефіцієнтом корисної дії в діапазоні від 15,8 до 16,3% (в умовах освітленості 1 кВт/м^2 , повітряної маси AM1,5 і температури $+25 \text{ }^\circ\text{C}$). Комплексний параметр Q для партії виготовлених ФЕП склав $0,02 \dots 0,05$, що відповідає зменшенню потужності ФБ не більше ніж на 10% протягом 30 років експлуатації.

Отриманні результати можуть бути використані при розробці чи удосконаленні технології виробництва моно- та мультикремнієвих фотоперетворювачів, що входять до складу фотоелектричних систем живлення РЕЗО, для підвищення їх якості і надійності. Запропоновану методику можливо використовувати на всіх технологічних операціях виготовлення ФЕП.

УДК 621.315.59

М.М.Охрамович, ад'юнк

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ОПРОМІНЕННЯ ПОТОКОМ ШВИДКИХ ЕЛЕКТРОНІВ ТВЕРДОТІЛЬНИХ КРЕМНІЄВИХ ФЕП ДЛЯ ФЕСБ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У статті запропоновано методику опромінення швидкими електронами фотоелектричних перетворювачів для фотоелектричних сонячних батарей спеціального призначення. Вибрана доза і енергія опромінення, описані отримані результати дослідження.

Ключові слова: фотоелектричний перетворювач, опромінення, швидкі електрони, фотоелектрична сонячна батарея, кремній.

In the article the irradiation technique of fast electrons of photo-electric converters for photo-electric solar batteries of special purpose is offered. The dose and energy of the irradiation is chosen, the described results of research are received.

Keywords: the photo-electric converter, an irradiation, fast electrons, the photo-electric solar battery, silicon

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми. Незважаючи на глобальний розвиток, який сьогодні переживає сонячна енергетика у всьому світі, багато питань досі залишаються нерозв'язаними або потребують більш глибокого вивчення. Одним із питань, що необхідно вирішити при впровадженні фотоелектричних сонячних батарей для енергозабезпечення радіоелектронних засобів озброєння (РЕЗО) при проведенні спеціальних операцій, є проблема підвищення якості і надійності кремнієвих фотоелектричних перетворювачів (ФЕП).

Важливим моментом є вирішення питання щодо зменшення впливу початкових дефектів напівпровідникового матеріалу та дефектів, що утворюються під час проведення технологічних операцій, на характеристики ФЕП.

До основних дефектів ФЕП відносяться агломерати точкових дефектів, дислокації та особливо їхні скупчення, планарні дефекти типу двійників, дефекти упакування, границі зерен, а також преципітати і мікрodefekти, що розташовані усередині зерен, також макроdefekти матеріалу тощо [1, 2]. Структурні дефекти істотно впливають на час життя носіїв заряду і питомий опір напівпровідникових матеріалів та приводять до зміни вольт-амперних характеристик ФЕП. Приведені дефекти викликають збільшення шунтуючих струмів, призводять до появи локального пробою p - n переходу, стають причиною неоднорідності фронту дифузії домішок, обривів металізації та проколів окислу, що, в свою чергу, приводить до деградації ФЕП, а також до зниження відсотка виходу придатних виробів [4].

В даній статті описаний реальний експеримент впливу потоку швидких електронів на твердотільні кре-

1. Clean electricity from photovoltaics / by Mary D. Archer and Robert Hill. – Imperial College Press, London, 2001, 868 p. 2. Ленков С.В., Лукомський Д.В. Комплексний параметр якості та надійності кремнієвих фотоелектричних перетворювачів // Збірник наукових праць ВІП НТУУ "КПІ". – К. – 2005. – №1. – С. 81–89. 3. Ленков С.В., Лукомський Д.В., Монаков С.В., Зубарев В.В. Конструктивно-технологічні особливості високоефективних сонячних елементів космічного призначення // Національна Академія Оборони України. Труды Академії. – К.: – 2002. – №35. – С. 94–96. 4. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Мир, 1984, т. 2. – 453 с. 5. Гаркавенко А.С., Зубарев В.В., Ленков С.В., Лукомський Д.В., Мокрицкий В.А. Новые лазерные методы, средства и технологии. – Одесса: Астропринт, 2002. – 280 с. 6. Spitzer M.B., Keavny C.I., Geofray I.M. Theoretical and experimental consideration for high silicon solar cell performance // Solar Cells. –1986. – 17, №1. – pp. 135–149. 7. Лукомський Д.В. Вибір оптимального режиму вживання металічних паст компанії ESL // Збірник наукових праць Одеського ордену Леніна інституту Сухопутних військ. – Одеса. – 2004. – №9. – С. 97–101.

Надійшла до редколегії 13.06.09р

мнієві пластини фотоелектричних сонячних батарей (ТП ФЕСБ).

Видкал основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Руйнівні фізико-технічні дослідження проведено з метою аналізу особливостей кристалевих кремнієвих структур, оцінки рівня дефектності, та впливу опромінення потоку швидких електронів високої енергії на ці характеристики [3,4].

Опромінення швидкими електронами ТПФЕСБ було проведено на лінійному прискорювачі "Електроніка" типу ЕЛУ-4 з наступними параметрами:

| | |
|------------------------|---|
| Енергія опромінення | $E=2,3 \div 2,7 \text{ MeV}$; |
| Доза | $\Phi=5 \cdot 10^{13} \div 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$; |
| Потік опромінення | $D \approx 2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ |
| Тривалість опромінення | $t=83 \text{ хв}$. |

На рис. 1 представлена принципова схема лінійного прискорювача. Електромагнітні коливання НВЧ діапазону створюються генератором, до виходу якого приєднаний високочастотний тракт, що передає потужність у діафрагмований хвилевід. Генератор працює в імпульсному режимі, тому що для створення потрібної напруженості прискорюючого поля, його потужність повинна бути значною. Генератором імпульсів у ЕЛУ-4 є потужний імпульсний магнетрон.

Анодна напруга на генератор подається короткими імпульсами тривалістю до 3 мкс із заданою частотою посилок. Одночасна напруга подається і на інжектор, що вводить електрони в діафрагмований прискорюючий хвилевід. В результаті взаємодії пучка електронів, створеного трьохелектродною гарматою Пірса-інжектором, з електромагнітною хвилею НВЧ діапазону, що прискорює, на виході хвилеводу

виходять імпульси прискорених електронів з такою ж частотою і приблизно такої ж тривалості, як і імпульси анодної напруги.

Прискорююче поле має максимальне значення в приосовій області і тому використовують фокусує подовжнє магнітне поле, що змушує електрони рухатися поблизу осі для одержання максимального ефекту прискорення. В результаті на вихідному вікні прискорювача пучок прискорених електронів гострофокусований (діаметр не більш 10 мм) і має високу щільність (до 10^{16} - 10^{17} електрон/см²·с).

Для створення робочої зони опромінення площею 0,5-1 м² із $\phi_e = 10^{12}$ електрон/см²·с використовують розсіювання пучка електронів на шарі повітря між вихідним вікном прискорювача та об'єктом опромінення. Фізична суть цього явища: при проходженні пучка через шар повітря відбувається багаторазове розсіювання електронів, в результаті якого сильно збільшується поперечний переріз пучка і, відповідно, знижується його щільність.

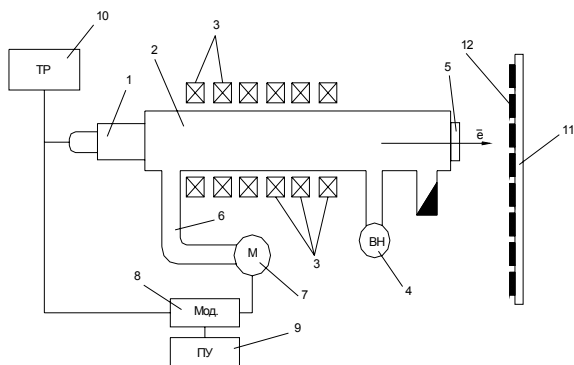


Рис. 1.

Схема лінійного прискорювача "Електроніка" ЕЛУ-4
 1 – інжектор; 2 – діафрагмований хвилевід; 3 – фокусує котушки; 4 – вакуумний насос; 5 – вихідне вікно; 6 – хвилевідний тракт; 7 – магнетрон; 8 – модулятор; 9 – пульт керування; 10 – каналний трансформатор інжектора; 11 – мішень; 12 – фотоелектричні пластини, що опромінюються

При дослідженні зміни структури твердотільних кремнієвих пластин та їх вихідних характеристик використані наступні основні методи аналізу:

- візуальний контроль поверхні пластин;
- контроль електричних параметрів: (напруги холостого ходу U_{xx} , струму короткого замикання $I_{kз}$, вольт-амперних характеристик (ВАХ), критерію ідеальності ВАХ – m -параметру, вольт-ватних характеристик);
- зняття у спеціальних розчинах ламінату оксидного покриття, металізації з поетапним оптичним контролем стану поверхні;
- послідовне проведення поліруючого та селективного травлення з поетапним мікроскопічним контролем;
- текстурування у водному розчині каустичної соди та ізопропилового спирту з мікроскопічним контролем стану поверхні під кутами 90° та 60°.

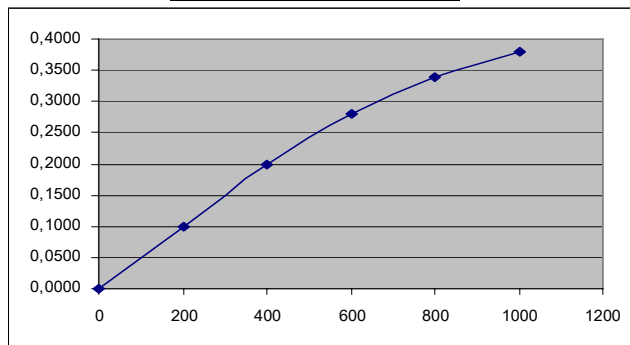
Поліруюче травлення проводилось у розчині Царської водки, селективне травлення, (з метою виявлення кристалевих дефектів у кремнії) проводилось у розчині Сиртля для орієнтації(111) та у розчині Деша для орієнтації (101), для виявлення мікросорстких дефектів – у розчині Дженікса.

Мікроскопічні дослідження спрямовані на виявлення та урахування кількості ямок травлення кожна з яких показує місце дислокаційних дефектів кристалевої

структури, а відносна кількість – рівень дефектності у конкретному шарі.

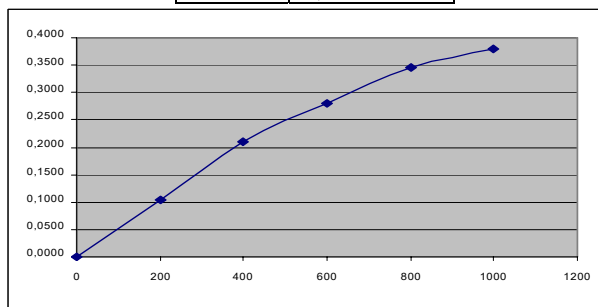
Результати огляду зовнішнього вигляду, мікроскопічні дослідження та перевірка основних електричних параметрів ТПФЕСБ показані на рис. 2 та рис. 3.

| E, Вт/м2 | Iкз, A |
|----------|--------|
| 1000 | 0,3800 |
| 800 | 0,3400 |
| 600 | 0,2800 |
| 400 | 0,2000 |
| 200 | 0,1000 |
| 0 | 0,0000 |



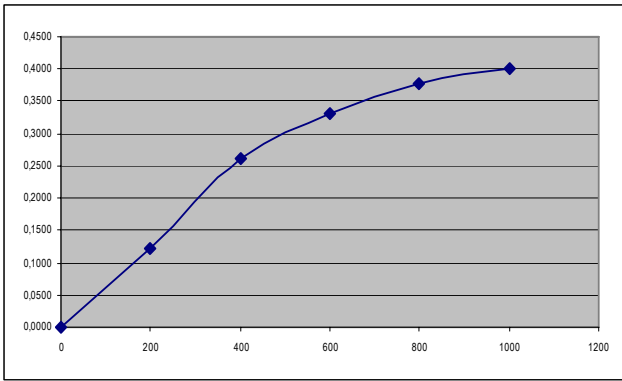
а) не опромінені

| E, Вт/м2 | Iкз, A |
|----------|--------|
| 1000 | 0,3800 |
| 800 | 0,3450 |
| 600 | 0,2800 |
| 400 | 0,2100 |
| 200 | 0,1050 |
| 0 | 0,0000 |



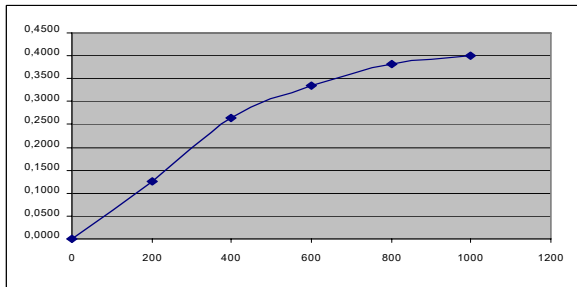
б) не опромінені

| E, Вт/м2 | Iкз, A |
|----------|--------|
| 1000 | 0,4000 |
| 800 | 0,3770 |
| 600 | 0,3300 |
| 400 | 0,2600 |
| 200 | 0,1230 |
| 0 | 0,0000 |



в) опромінені

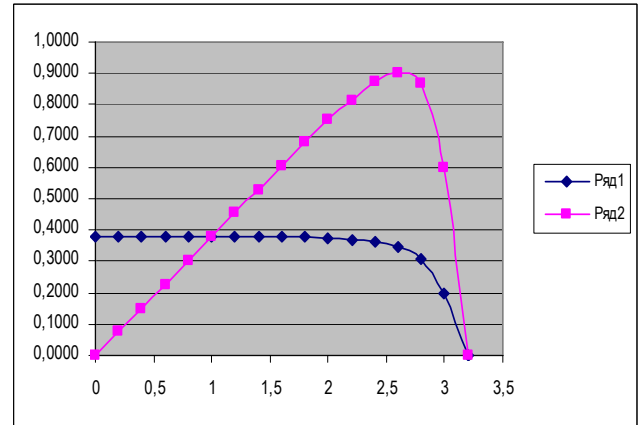
| E, Вт/м2 | I _{кз} , А |
|----------|---------------------|
| 1000 | 0,4000 |
| 800 | 0,3820 |
| 600 | 0,3350 |
| 400 | 0,2650 |
| 200 | 0,1250 |
| 0 | 0,0000 |



г) опромінені

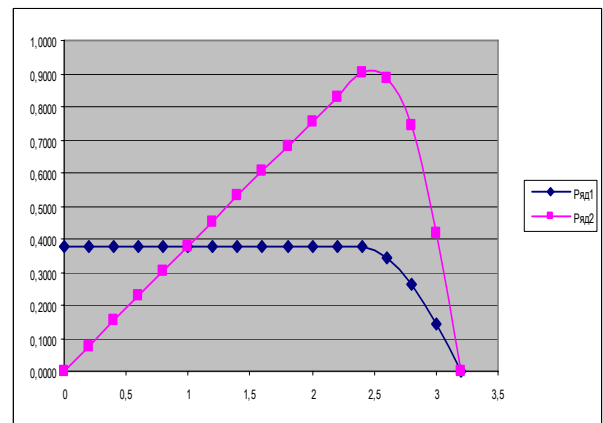
Рис. 2. Залежність струму короткого замикання (I_{кз})ТПФЕСБ від приведеного світлового потоку (E)

| U, В | I, А | P, Вт |
|------|--------|---------------|
| 3,2 | 0,0000 | 0,0000 |
| 3 | 0,2000 | 0,6000 |
| 2,8 | 0,3100 | 0,8680 |
| 2,6 | 0,3470 | 0,9022 |
| 2,4 | 0,3650 | 0,8760 |
| 2,2 | 0,3700 | 0,8140 |
| 2 | 0,3760 | 0,7520 |
| 1,8 | 0,3770 | 0,6786 |
| 1,6 | 0,3780 | 0,6048 |
| 1,4 | 0,3770 | 0,5278 |
| 1,2 | 0,3780 | 0,4536 |
| 1 | 0,3790 | 0,3790 |
| 0,8 | 0,3770 | 0,3016 |
| 0,6 | 0,3800 | 0,2280 |
| 0,4 | 0,3770 | 0,1508 |
| 0,2 | 0,3780 | 0,0756 |
| 0 | 0,3800 | 0,0000 |



а) не опромінені

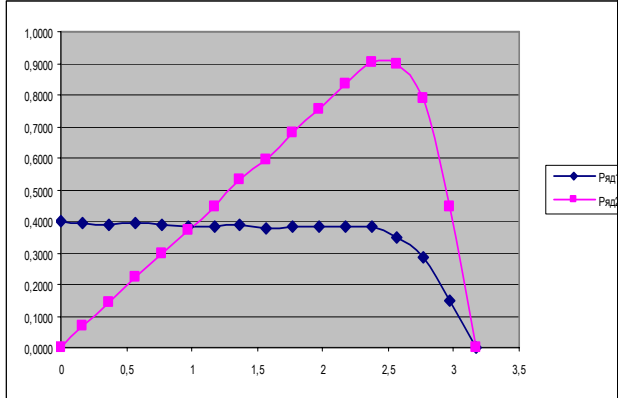
| U, В | I, А | P, Вт |
|------|--------|---------------|
| 3,2 | 0,0000 | 0,0000 |
| 3 | 0,1400 | 0,4200 |
| 2,8 | 0,2650 | 0,7420 |
| 2,6 | 0,3400 | 0,8840 |
| 2,4 | 0,3760 | 0,9024 |
| 2,2 | 0,3755 | 0,8261 |
| 2 | 0,3760 | 0,7520 |
| 1,8 | 0,3770 | 0,6786 |
| 1,6 | 0,3780 | 0,6048 |
| 1,4 | 0,3790 | 0,5306 |
| 1,2 | 0,3770 | 0,4524 |
| 1 | 0,3780 | 0,3780 |
| 0,8 | 0,3790 | 0,3032 |
| 0,6 | 0,3770 | 0,2262 |
| 0,4 | 0,3800 | 0,1520 |
| 0,2 | 0,3770 | 0,0754 |
| 0 | 0,3800 | 0,0000 |



б) не опромінені

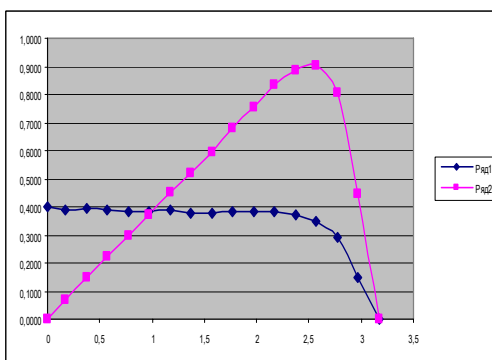
| U, В | I, А | P, Вт |
|------|--------|---------------|
| 3,17 | 0,0000 | 0,0000 |
| 2,97 | 0,1500 | 0,4455 |
| 2,77 | 0,2850 | 0,7895 |
| 2,57 | 0,3500 | 0,8995 |
| 2,37 | 0,3810 | 0,9030 |
| 2,17 | 0,3840 | 0,8333 |
| 1,97 | 0,3820 | 0,7525 |
| 1,77 | 0,3850 | 0,6815 |
| 1,57 | 0,3800 | 0,5966 |
| 1,37 | 0,3880 | 0,5316 |
| 1,17 | 0,3830 | 0,4481 |

| | | |
|------|--------|---------------|
| 0,97 | 0,3850 | 0,3735 |
| 0,77 | 0,3890 | 0,2995 |
| 0,57 | 0,3950 | 0,2252 |
| 0,37 | 0,3900 | 0,1443 |
| 0,17 | 0,3950 | 0,0671 |
| 0 | 0,4000 | 0,0000 |



в) опромінені

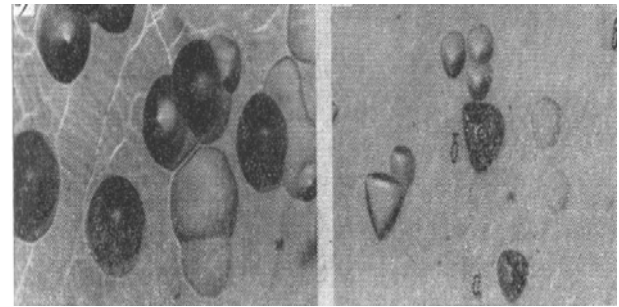
| U, В | I, А | P, Вт |
|-------------|--------|---------------|
| 3,17 | 0,0000 | 0,0000 |
| 2,97 | 0,1500 | 0,4455 |
| 2,77 | 0,2900 | 0,8033 |
| 2,57 | 0,3510 | 0,9021 |
| 2,37 | 0,3740 | 0,8864 |
| 2,17 | 0,3840 | 0,8333 |
| 1,97 | 0,3840 | 0,7565 |
| 1,77 | 0,3850 | 0,6815 |
| 1,57 | 0,3800 | 0,5966 |
| 1,37 | 0,3800 | 0,5206 |
| 1,17 | 0,3880 | 0,4540 |
| 0,97 | 0,3830 | 0,3715 |
| 0,77 | 0,3850 | 0,2965 |
| 0,57 | 0,3890 | 0,2217 |
| 0,37 | 0,3950 | 0,1462 |
| 0,17 | 0,3900 | 0,0663 |
| 0 | 0,4000 | 0,0000 |



г) опромінені

Рис. 3. Вольт-амперні та вольт-ватні характеристики ТПФЕСБ

Мікроскопічні дослідження після селективного травлення показали, що рівень дефектності у опроміненіх пластин у 1,5 – 2 рази менший ніж у неопроміненіх рис. 4:



а)

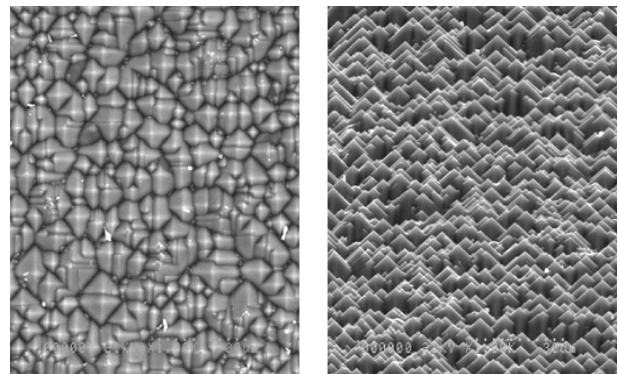
б)

Неопромінені ТПФЕСБ

Опромінені ТПФЕСБ

Рис. 4. Мікрофотографія шарів кремнієвих пластин ТПФЕСБ після селективного травлення (збільшення x4000)

Мікроскопічне зображення поверхні кристалової структури після селективного травлення та текстурування для опроміненіх пластин наведено на рис. 5 (збільшення x4000 крат):

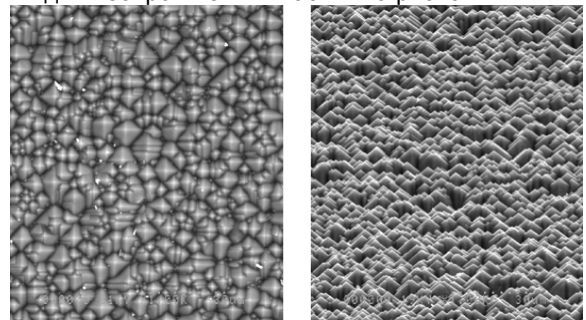


а) під кутом 90°

б) під кутом 60°

Рис. 5. Мікрофотографія шарів кремнієвих пластин ТПФЕСБ, що опромінені після текстурування (збільшення x1000)

Мікроскопічне зображення поверхні кристалової структури після селективного травлення та текстурування для неопроміненіх пластин на рис. 6:



а) під кутом 90°

б) під кутом 60°

Рис. 6. Мікрофотографія шарів кремнієвих пластин ТПФЕСБ, що не опромінені після текстурування (збільшення x1000)

Аналіз результатів проведених випробувань. 1. Контроль електрофізичних параметрів показав, що:

- вольт-амперні та вольт-ватні характеристики опромінених та неопромінених ТПФЕСБ по характеру майже співпадають;

- найбільше значення струму I_{k3} у опромінених ТПФЕСБ на 5% більше ніж у неопромінених;

- найбільше значення генеруємої потужності у неопромінених та опромінених ТПФЕСБ однакові, однак відповідають різним напругам:

2,4В та 2,6В для неопромінених і 2,37В та 2,57В для опромінених;

- опромінення підвищує значення I_{k3} , знижує U_{xx} , практично не змінює значення m -параметру, майже не впливає на вольт-амперну та вольт-ватну характеристики.

2. Мікроскопічні дослідження при пошаровому виконанні поліруючих та селективних травлень показали, що після опромінення кількість дефектів за підрахунком кількості ямок травлення зменшується.

3. Текстурування у спеціальному розчині підтвердило, що кількість дефектів у всіх досліджувальних шарах пластин ФЕСБ, що опромінювались нижче ніж у тих, що не опромінювались.

Висновки. Виходячи з вищевказаного можна зробити висновок, що опромінення швидкими електронами ТПФЕСБ поліпшує їх електрофізичні параметри та характеристики, завдяки значній релаксації дефектів кри-

сталевих структур. Аналіз залежності струму короткого замикання (I_{k3}) від приведенного (до електричної потужності криптонової лампи) значення світлового потоку E показує, що енергетичний вигравш від опромінення швидкими електронами відчувається практично у всьому діапазоні значень E , а саме:

| | |
|-----------------------|-------------------|
| при $E=1000\text{Вт}$ | він складає 5%; |
| $E=800\text{Вт}$ | - $9\div 11\%$; |
| $E=600\text{Вт}$ | - $18\div 20\%$; |
| $E=400\text{Вт}$ | - $24\div 26\%$; |
| $E=200\text{Вт}$ | - $17\div 19\%$. |

Тобто, максимальні переваги відчуваються при освітленні адекватному потужності лампи 400Вт і складає орієнтовано 25%. Даний результат дає можливість працювати ФЕСБ спеціального призначення при низьких рівнях світлових потоків.

1. С.В. Ленков, В.А. Мокрицкий, Д.А. Перегудов, Г.Т. Тариелашвили. Физико-технические основы радиационной технологии полупроводников Одесса -2002. 2. Ленков С.В., Лукмоський Д.В., Ликов О.І., Зубарев В.В. Підвищення ефективності кремнієвих фотоелектричних перетворювачів за допомогою текстурування їх поверхні // Сенсорна електроніка і мікросистемні технології. – Одеса. – 2004. – №2. – С. 58-62. 3. Green M.A. Crystalline silicon solar cells: status and prospects for laboratory, commercial and thin-film cells // Optoelectronics – Devices and Technologies. – 1994. – Vol. 9, N4. – P. 423–434. 4. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 475 с.

Надійшла до редколегії 8.08.09

УДК 528.087

А.І. Сбітнєв, д-р техн. наук, проф.,
І.С. Романченко, д-р військ. наук, проф.,
С.Г. Бутенко, канд. техн. наук,
Н.В. Коновалова, здобувач,
В.М. Шмиголь, здобувач

ДО ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРІНГУ НА ОБ'ЄКТІ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В статті розглядається використання екологічного менеджменту і аудиту як одного із загальноновизнаних в світі напрямку практичного вирішення екологічних проблем та формування промислової екологічної культури і екологічної культури українських підприємств військово-промислового комплексу.

Ключові слова: стандартизація, екологічний моніторинг, викиди, цикли

In the article the use of ecological management and audit as one of conventional in the world of a direction of the practical decision of environmental problems and formations of industrial ecological culture and ecological culture of the Ukrainian enterprises of military-industrial complex is considered.

Keywords: standardization, ecological monitoring, emissions, cycles.

Вступ. Вихід із критичного екологічного становища, що склалося в світі, безпосередньо зв'язується із пошуком принципово нових підходів до вирішення виробничих і територіальних екологічних проблем, які активно використовують можливості ринкової економіки і творчий потенціал підприємництва. В цілому тут вже можна говорити про виникнення і розвиток нових форм екологічної культури в промисловому виробництві і підприємстві.

Використання екологічного менеджменту і аудитування вважається за один із загальноновизнаних в світі шляхів практичного вирішення екологічних проблем.

На сьогодні не існує єдиних загальноприйнятих визначень екологічного менеджменту і аудитування, тому будемо використовувати методичні нароби семінару "Екологічний менеджмент і аудит в Росії, Білорусі і на Україні. Труды експертного семінара Москва, 3-4 апреля 2000 г"

Екологічний менеджмент визначають як внутрішньо мотивовану ініціативну результативну діяльність економічних суб'єктів (підприємств, фірм, виробничих об'єднань, окремих підприємств), направлену на досягнення їх власних екологічних, економічних цілей і

програм, в основі яких лежить захист навколишнього середовища і отримання прибутків.

Баланс екології і економіки – головна мета стійкого розвитку, не руйнуючого екологічні системи і природні ресурси, в яких мають потребу як сьогодні, так і майбутні покоління.

Під екологічним аудитуванням в широкому сенсі розуміють незалежний кваліфікований аналіз і оцінювання третьою стороною досягнутих результатів діяльності в області охорони навколишнього середовища і раціонального використання природних ресурсів, енергоносіїв, матеріальних ресурсів (включаючи оцінювання відповідності чинному природоохоронному законодавству) і розроблення необхідних екологічних, економічних рекомендацій і пропозицій для подальшого розвитку цієї діяльності

Для підприємств України на сьогоднішній день можна говорити поки лише про існування суспільної потреби в розвитку екологічного аудитування і менеджменту, яка визначається зокрема:

погіршенням екологічної ситуації на підприємствах в країні, пов'язаній з явною неефективністю традиційних форм державного екологічного контролю і управління;